

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-334258

(43)Date of publication of application : 02.12.1994

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 05-123728

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 26.05.1993

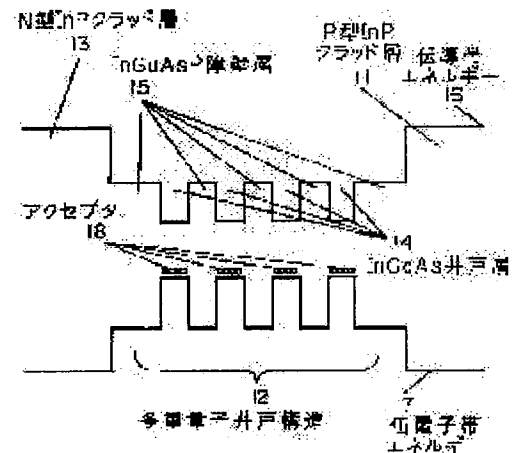
(72)Inventor : UNO TOMOAKI  
ODANI JIYUN

## (54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To improve the response characteristics for a high frequency modulation current in addition to the DC characteristics of threshold current and temperature characteristics by increasing the ratio of gain increase for the change in unit carrier density.

**CONSTITUTION:** The title device consists of P-type InP clad layer 11, a multiple quantum well structure 12 consisting of a well layer and a barrier layer, N-type InP clad layer 13, a well layer 14 consisting of  $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}(x=0.7)$  crystalline composition in that 1% compression distortion where P-type impurity is added is introduced, InGaAsP ( $\lambda_g=1.2\mu\text{m}$ ) where no impurities are added intentionally, an electrical conduction band energy 16, valence band energy 17, and an acceptor 18 by adding an P-type impurity. Since the P-type impurity is doped on the well layer 14 and further distortion is introduced, optical gain at the well layer can be increased without being subjected to the generation of the unneeded emission recombination current at the barrier layer and an optical loss due to the absorption mechanism between valence bands at the barrier layer.



**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A semiconductor laser device introducing a compressive strain into said well layer, not giving impurity addition to said barrier layer in a semiconductor laser element with multiple quantum well structure which has a well layer and a barrier layer, but adding an impurity of P type only to said well layer.

[Claim 2]In a semiconductor laser device with multiple quantum well structure which has a well layer and a barrier layer, A semiconductor laser device setting up so that bandgap energy of said barrier layer may become small gradually towards the cladding layer side which has a conductivity type of N type from the cladding layer side which has a conductivity type of P type.

[Claim 3]The semiconductor laser device according to claim 2 characterized by setting up thickness of a well layer which forms said quantum well structure, or a crystal presentation so that energy difference between the first quantum level of an electron in each quantum well structure and the first quantum level of an electron hole may become equal.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]This invention is a range whose oscillation wavelength is 1–1.6 micrometers, and relates to the semiconductor laser device which has the multiple quantum well structure of the kind used for the light source for optical communications etc. which make an optical fiber a transmission line.

[0002]

[Description of the Prior Art]Conventionally, in the semiconductor laser device of the above-mentioned kind, the trial of the characteristic improvement by addition of the P type impurity to the barrier layer of the multiple quantum well structure called abnormal-conditions doping and the trial of the characteristic improvement by the distorted introduction to the well layer of multiple quantum well structure are performed.

[0003]In abnormal-conditions doping, it is expected by adding beforehand the electron hole where mass is heavy to a barrier layer that an electron hole will be poured into a well layer from a barrier layer, and will enlarge an effectual profit to change of unit carrier density in the case of the radiative recombination of the electron in a well layer and an electron hole.

[0004]when the band structure (especially valence band) of a semiconductor layer changes and the mass of the electron hole of the first quantum level in a gamma point becomes small by distortion as an effect by the distorted introduction to a well layer, enlarging the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density is expected.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, a semiconductor laser device which has the multiple quantum well structure whose oscillation wavelength is 1–1.6 micrometers, In the semiconductor laser device produced with the semiconducting crystal of four element systems which use as the main ingredients indium gallium arsenide-phosphorus which carried out crystal growth especially on the indium phosphide board, The characteristic improvement to the extent that it was expected is not made (for example, Vol.4, IEEE Photonics Technology Letters, No.12–1992 besides Y.Zou).

[0006]We in abnormal-conditions doping, about this cause, (1) The radiative recombination of the high energy which does not contribute to the laser oscillation of an electron and an electron hole in a barrier layer happens, and produce an unnecessary current component, (2) It found out the absorber style between valence bands by the P type impurity added by the barrier layer arising, and the optical loss by a barrier layer increasing, and negating the increase in the optical gain in a well layer as a result.

[0007]Drawing 3 is used for below and this conventional technical problem is explained to it. Drawing 3 shows the energy of the conducting zone of the quantum well portion of the semiconductor laser device of the conventional example which has an oscillation wavelength in 1.5 micrometers, a valence band, and a split-off valence band. The well layer which consists of an  $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$  ( $x=0.53$ ) crystal presentation in which 31 carried out lattice matching to the  $\text{InP}$  semiconductor substrate in drawing 3, The  $\text{InGaAsP}$  ( $\lambda_{\text{d}} = 1.2$  micrometers) barrier layer in which 32 added the P type impurity, An electron and 34 for 33 an electron hole and 35 an acceptor and 36 Conducting-zone energy, 37 — the radiative recombination in a well layer and 40 show the radiative recombination in a barrier layer, 41 shows the valence-bands absorption transition by a well layer, and, as for split-off valence-band energy and 39, valence-band energy and 38 show the valence-bands absorption transition by a barrier layer 42.

[0008]It is known for the material of an InP system that the rate of the band discontinuity of the conducting zone between dissimilar materials and a valence band will be about 40% and 60%, respectively, and the depth (energy) of the well of a conducting zone is smaller than the depth (energy) of the well of a valence band. For this reason, in the carrier density of the grade which starts laser oscillation, the electron of a conducting zone overflows from a well layer, and exist also in a barrier layer. [ many ] For this reason, the radiative recombination 40 happens in a barrier layer. However, the current in which wavelength differs and which flows through a PN junction by this recombination is one of the causes which raises the oscillation current threshold of a semiconductor laser device by a wattless component in the original radiative recombination 39 which this radiative recombination contributes to laser oscillation.

[0009]Since the energy between that the electron hole mass of the valence band 37 is heavier than the electron hole mass of the split-off valence band 38, and the valence band 37 and the split-off valence band 38 is comparatively small in the material of an InP system, A laser beam is absorbed between valence bands and the valence-bands absorption transition 41 and 42 takes place. (Absorption between valence bands is described to Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-19, No.6, and 1983 by C.H.Henry etc., for example.)It is a not desirable thing for this optical absorption to make it hard to happen in laser oscillation, and to worsen the temperature characteristics of an oscillation current threshold etc.

[0010]Pouring to each quantum well structure of the electron hole by the current injection to a semiconductor laser device is uneven for every well, Having had an adverse effect not only on a direct current characteristic but on a high frequency characteristic is reported to (Applied Physics Letters Vol.62, No.1-1983) by N.Tessler etc.

[0011]Then, an object of this invention is to provide the semiconductor laser device which enlarged the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density.

[0012]

[Means for Solving the Problem]In order to solve this technical problem, a semiconductor laser device of this invention, A compressive strain is introduced into a well layer in a semiconductor laser element which has multiple quantum well structure in the first place, And intentional impurity addition is not given to a barrier layer, but an impurity of P type using a means to add intentionally, only to said well layer to the second. In a semiconductor laser device which it has, multiple quantum well structure bandgap energy of a barrier layer, Using a means to set up towards the cladding layer side which has a conductivity type of N type from the cladding layer side which has a conductivity type of P type become small gradually, to the third. In the aforementioned semiconductor laser device, thickness of a well layer which forms said quantum well structure, or a means to set up a crystal presentation is used so that energy difference between the first quantum level of an electron in each quantum well structure and the first quantum level of an electron hole may become equal.

[0013]

[Function]The first operation of this invention can aim at the increase in the optical gain in a well layer, without receiving generating of the unnecessary radiative recombination current in a barrier layer, and the optical loss by the absorber style between valence bands in a barrier layer by introducing a compressive strain into a well layer and adding a P type impurity. The absorption between valence bands by a well layer is controlled substantially because of the small electron hole mass by a distorted effect. For this reason, the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged, and the characteristic of a semiconductor laser device can be improved.

[0014]The second operation of this invention by setting up towards the cladding layer side which has a conductivity type of N type from the cladding layer side which has a conductivity type of P type for the bandgap energy of a barrier layer become small gradually, Pouring of the electron hole poured in electrically takes place from the clad of the conductivity type of P type to homogeneity more to each multiplex quantum well layer. For this reason, the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged.

[0015]In each quantum well structure which forms said multiple quantum well structure, so that the energy difference between the first electronic quantum level and the first quantum level of an electron hole may become equal, He is trying for profit wavelength to become equal in all the quantum well structures at the same time pouring of an electron hole takes place uniformly by setting up the thickness of the well layer which forms said quantum well structure, or a crystal presentation.

[0016] Thus, in this invention, since the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged, the threshold current of a semiconductor laser device becomes small, and temperature characteristics are also improved. The response to high-frequency-modulation current is also improved. [0017]

[Example] (Example 1) The first example of this invention is hereafter described using a drawing. Drawing 1 is a figure in which the oscillation wavelength in the first example shows the energy of the conducting zone and valence band of the semiconductor laser device near 1.5 micrometer.

[0018] The InP cladding layer in which 11 added the P type impurity (Zn) at a rate of  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  in drawing 1, The multiple quantum well structure which 12 becomes from four pairs of well layers, and a barrier layer, the InP cladding layer in which 13 added the N type impurity (Se) at a rate of  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , The well layer which consists of an  $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$  ( $x = 0.7$ ) crystal presentation with a thickness of 30 Å into which 14 introduced 1% of compressive strain which added the P type impurity (Zn) at a rate of  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , 15 is an acceptor according [ according to / according to / in an InGaAsP ( $\lambda_g = 1.28$  micrometers) barrier layer with a thickness of 100 Å which does not add an impurity intentionally, and 16 / conducting-zone energy / in 17 / valence-band energy / 18 ] to P type impurity addition.

[0019] When it embedded in this example and the semiconductor laser device of the mold was produced, the current threshold has been improved from 15 mA of a conventional example to 8 mA, and temperature characteristics have also been improved. The maximum relaxation oscillation frequency also according [ the high frequency response characteristic ] to a small signal response has been improved from 10 GHz of a conventional example to 15 GHz.

[0020] As mentioned above, the increase in the optical gain in a well layer can be aimed at, without receiving generating of the unnecessary radiative recombination current in a barrier layer, and the optical loss by the absorber style between valence bands in a barrier layer by introducing a compressive strain into a well layer and adding a P type impurity. The absorption between valence bands by a well layer is controlled substantially because of the small electron hole mass by a distorted effect. For this reason, the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged, and the characteristic of a semiconductor laser device can be improved.

[0021] Although this example described the well layer on the conditions of a specific crystal presentation, thickness, an impurity, etc., the barrier layer, and the cladding layer, it cannot be overemphasized that the same effect is acquired also on other suitable conditions. Although the case of 1.5 micrometers was explained as an oscillation wavelength of a semiconductor laser device, the same may be said of the wavelength range which is 1.0 – 1.6 micrometers.

[0022] In this example, the inrush current and laser beam which omitted explanation shut up, about structure, restriction is not given at all and the embedded structure used conventionally can also be used.

[0023] (Example 2) The second example of this invention is hereafter described using a drawing. Drawing 2 is a figure in which the oscillation wavelength in the second example shows the energy of the conducting zone and valence band of the semiconductor laser device near 1.5 micrometer. The InP cladding layer in which 21 added the P type impurity (Zn) at a rate of  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  in drawing 2, The multiple quantum well structure which 22 becomes from four pairs of well layers, and a barrier layer, the InP cladding layer in which 23 added the N type impurity (Se) at a rate of  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , 24 introduces a compressive strain and turns it to an N type InP cladding layer from a P type InP cladding layer —  $x = 0.75$  — the well layer clutteringly set to 0.7 from the  $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$  crystal presentation which decreases gradually. As for the InGaAsP ( $\lambda_g = 1.2$  micrometers) barrier layer to which the bandgap energy with which 25 does not add an impurity intentionally decreases from a P type InP cladding layer gradually from 1 eV to 0.95 eV towards an N type InP cladding layer, and 26, conducting-zone energy and 27 are valence-band energies.

[0024] When it embedded in this example and the semiconductor laser device of the mold was produced, the current threshold has been improved from 15 mA of a conventional example to 10 mA, and temperature characteristics have also been improved. The maximum relaxation oscillation frequency also according [ the high frequency response characteristic ] to a small signal response has been improved from 10 GHz of a conventional example to 17 GHz.

[0025]As mentioned above, by setting up towards the cladding layer side which has a conductivity type of N type from the cladding layer side which has a conductivity type of P type for the bandgap energy of a barrier layer become small gradually, Pouring of the electron hole poured in electrically takes place from the clad of the conductivity type of P type to homogeneity more to each multiplex quantum well layer. For this reason, the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged.

[0026](Example 3) In each quantum well structure which forms again the multiple quantum well structure shown in Example 2, so that the energy difference between the first electronic quantum level and the first quantum level of an electron hole may become equal, It is made for profit wavelength to become equal in all the quantum well structures at the same time pouring of an electron hole takes place uniformly by setting up the thickness of the well layer which forms said quantum well structure, or a crystal presentation.

[0027]Thus, in this invention, since the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged, the threshold current of a semiconductor laser device becomes small, and temperature characteristics are also improved. The response to high-frequency-modulation current is also improved.

[0028]In the above example, although each example was shown about the composition of the claim of this invention, two or more inventions may be used simultaneously.

[0029]

[Effect of the Invention]As explained above, according to this invention, in the range whose oscillation wavelength is 1-1.6 micrometers. In the semiconductor laser device which has the multiple quantum well structure of the kind used for the light source for optical communications etc. which make an optical fiber a transmission line, since the rate of the increase in a profit over change of unit carrier density can be enlarged, Besides direct current characteristics, such as threshold current and temperature characteristics, it is effective in improving the response characteristic over high-frequency-modulation current, and has an industrially big meaning in fields, such as optical communications.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The figure showing the energy of the conducting zone and valence band of a semiconductor laser device in the first example

[Drawing 2]The figure showing the energy of the conducting zone and valence band of a semiconductor laser device in the second example

[Drawing 3]The figure showing the energy of the conducting zone and valence band of a quantum well structure part in a semiconductor laser device in a conventional example

[Description of Notations]

11, a 21 P-type InP cladding layer

12 and 22 Multiple quantum well structure

13, a 23 N-type InP cladding layer

14 The InGaAs well layer which added the P type impurity

15 The InGaAsP barrier layer which does not add an impurity intentionally

16 and 26 Conducting-zone energy

17 and 27 Valence-band energy

18 Acceptor

24 InGaAs well layer

25 The InGaAsP barrier layer from which a band gap changes gradually

38 Radiative recombination of a well layer

39 Radiative recombination of a barrier layer

40 Valence-bands absorption transition by a well layer

41 Valence-bands absorption transition by a barrier layer

---

[Translation done.]

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平5-123728

(22) 出願日 平成5年(1993)5月26日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 宇野 智昭

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 雄谷 順

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

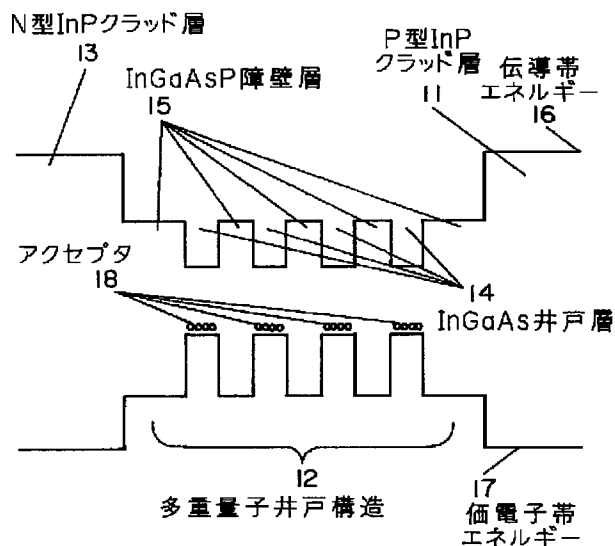
(74) 代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

## (54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置

## (57) 【要約】

【目的】 多重量子井戸構造を有する半導体レーザ装置に於いて、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくして、しきい値電流や温度特性等の直流特性の他に、高周波変調電流に対する応答特性も改善する。

【構成】 11はP型InPクラッド層、12は井戸層と障壁層からなる多重量子井戸構造、13はN型InPクラッド層、14はP型不純物を添加した1%の圧縮歪を導入した $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$  ( $x=0.7$ ) 結晶組成からなる井戸層、15は不純物を意図的には添加しない $\text{InGaAsP}$  ( $\lambda_g=1.2\mu\text{m}$ ) 障壁層、16は伝導帯エネルギー、17は価電子帯エネルギー、18はP型不純物添加によるアクセプタである。ここで井戸層14にP型不純物がドーピングされ、さらに歪を導入されているので、障壁層での不要な発光再結合電流の発生や、障壁層での価電子帯間吸収機構による光学的な損失を被ることなしに、ウェル層での光学利得の増加を図ることができる。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】井戸層と障壁層を有する多重量子井戸構造をもつ半導体レーザ素子に於いて、前記井戸層に圧縮歪が導入されており、かつ前記障壁層には不純物添加が施されず、前記井戸層のみにP型の不純物を添加することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】井戸層と障壁層を有する多重量子井戸構造をもつ半導体レーザ装置に於いて、前記障壁層のバンドギャップエネルギーが、P型の導電型を有するクラッド層の側からN型の導電型を有するクラッド層の側に向けて、序々に小さくなるように設定されることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】各々の量子井戸構造に於ける電子の第一量子準位と正孔の第一量子準位間のエネルギー差が等しくなるように、前記量子井戸構造を形成する井戸層の膜厚、もしくは結晶組成を設定することを特徴とする請求項2に記載の半導体レーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、発振波長が1～1.6  $\mu\text{m}$ の範囲で、光ファイバを伝送路とする光通信用の光源等に用いられる種類の、多重量子井戸構造を有する半導体レーザ装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、上記した種類の半導体レーザ装置に於いては、変調ドーピングと呼ばれる多重量子井戸構造のバリア層へのP型不純物の添加による特性改善の試みや、多重量子井戸構造のウエル層への歪の導入による特性改善の試みが行われている。

【0003】変調ドーピングの場合には、質量の重い正孔を予めバリア層に添加することにより、正孔がバリア層からウエル層に注入されて、ウエル層での電子と正孔との発光再結合の際に、単位キャリア密度の変化に対して実効的な利得を大きくすることが期待されている。

【0004】また、ウエル層への歪の導入による効果としては、歪によって半導体層のバンド構造（特に価電子帯）が変形し、ガンマ点での第一量子準位の正孔の質量が小さくなることにより単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることが期待されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、発振波長が1～1.6  $\mu\text{m}$ の多重量子井戸構造を有する半導体レーザ装置、特にインジウム燐基板上に結晶成長したインジウムガリウムヒ素-燐を主成分とする4元素の半導体結晶で作製された半導体レーザ装置に於いては、期待された程の特性改善が行われていない（例えば、Y. Zou 他, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 4, No. 12, 1992）。

【0006】我々は、この原因について変調ドーピングの場合には、(1)バリア層に於いて電子と正孔のレーザ

発振には寄与しない高エネルギーの発光再結合が起こり、不用の電流成分を生じさせること、(2)バリア層に添加されたP型不純物による価電子帯間吸収機構が生じてバリア層での光学的な損失が増加して、結果的にウエル層での光学利得の増加を打ち消してしまうことを見いだした。

【0007】以下に、図3を用いて、この従来の課題について説明する。図3は1.5  $\mu\text{m}$ に発振波長を有する従来例の半導体レーザ装置の量子井戸部分の、伝導帯、価電子帯、スプリットオフ価電子帯のエネルギーを示す。図3に於いて、31はInP半導体基板に格子整合した $\text{In}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As}$  ( $x=0.53$ ) 結晶組成からなる井戸層、32はP型不純物を添加した $\text{InGaAsP}$  ( $\lambda_g=1.2 \mu\text{m}$ ) 障壁層、33は電子、34は正孔、35はアクセプタ、36は伝導帯エネルギー、37は価電子帯エネルギー、38はスプリットオフ価電子帯エネルギー、39は井戸層での発光再結合、40は障壁層での発光再結合、41は井戸層での価電子帯間吸収遷移、42は障壁層での価電子帯間吸収遷移を示す。

【0008】InP系の材料では、異種材料間での伝導帯と価電子帯のバンド不連続の割合がそれぞれほぼ40%、60%となることが知られており、伝導帯のウエルの深さ（エネルギー）は価電子帯のウエルの深さ（エネルギー）よりも小さい。このためレーザ発振を開始する程度のキャリア密度に於いては、伝導帯の電子はウエル層から溢れて障壁層にも多数存在する。このため障壁層に於いて発光再結合40が起こる。ところがこの発光再結合は、レーザ発振に寄与する本来の発光再結合39とは波長が異なり、この再結合によってPN接合を流れる電流は無効成分で半導体レーザ装置の発振電流しきい値を上昇させる原因の一つである。

【0009】また、InP系の材料では、価電子帯37の正孔質量がスプリットオフ価電子帯38の正孔質量よりも重いことと、価電子帯37とスプリットオフ価電子帯38の間のエネルギーが比較的小さいために、価電子帯間でレーザ光が吸収されて価電子帯間吸収遷移41、42が起こる。（価電子帯間吸収については、例えばC. H. Henry他によってJournal of Quantum Electronics, Vol. QE-19, No. 6, 1983 に述べられている。）この光学的な吸収は、レーザ発振を起こりにくくするし、発振電流しきい値の温度特性を悪くする等好ましくないものである。

【0010】また、半導体レーザ装置への電流注入による正孔の各量子井戸構造への注入がウエル毎に不均一であり、直流特性のみならず高周波特性にも悪影響を与えていることが、N. Tessler等によって(Applied Physics Letters Vol. 62, No. 1, 1983) に報告されている。

【0011】そこで本発明は、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくした半導体レーザ装置を提供することを目的とする。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するために、本発明の半導体レーザ装置は、第一には、多重量子井戸構造を有する半導体レーザ素子に於いて、井戸層に圧縮歪が導入されており、かつ障壁層には意図的な不純物添加が施されず、前記井戸層のみにP型の不純物を意図的に添加する手段を用い、第二には、多重量子井戸構造を有する半導体レーザ装置に於いて、障壁層のバンドギャップエネルギーが、P型の導電型を有するクラッド層の側からN型の導電型を有するクラッド層の側に向けて、序々に小さくなるように設定する手段を用い、第三には、前記の半導体レーザ装置に於いて、各々の量子井戸構造に於ける電子の第一量子準位と正孔の第一量子準位間のエネルギー差が等しくなるように、前記量子井戸構造を形成する井戸層の膜厚、もしくは結晶組成を設定する手段を用いる。

## 【0013】

【作用】本発明の第一の作用は、圧縮歪を井戸層に導入してP型不純物を添加することにより、障壁層での不要な発光再結合電流の発生や、障壁層での価電子帯間吸収機構による光学的な損失を被ることなしに、ウェル層での光学利得の増加を図ることができる。井戸層での価電子帯間吸収は、歪の効果による小さい正孔質量のために大幅に抑制される。このため、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができ、半導体レーザ装置の特性を改善することができる。

【0014】また、本発明の第二の作用は、障壁層のバンドギャップエネルギーを、P型の導電型を有するクラッド層の側からN型の導電型を有するクラッド層の側に向けて、序々に小さくなるように設定することにより、P型の導電型のクラッドから電氣的に注入される正孔の注入が各多重量子井戸層に対してより均一に起こる。このため、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができる。

【0015】また、前記多重量子井戸構造を形成する各々の量子井戸構造に於いて、電子の第一量子準位と正孔の第一量子準位間のエネルギー差が等しくなるように、前記量子井戸構造を形成する井戸層の膜厚、もしくは結晶組成を設定することにより正孔の注入が均一に起こると同時に、利得波長が全ての量子井戸構造に於いて等しくなるようにしている。

【0016】このようにして、本発明では単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができるために、半導体レーザ装置のしきい値電流は小さくなり、温度特性も改善される。さらに、高周波変調電流に対する応答も改善される。

## 【0017】

【実施例】（実施例1）以下、図面を用いて本発明の第一の実施例について説明する。図1は第一の実施例に於ける発振波長が1.5μm付近の半導体レーザ装置の伝

導帯と価電子帯のエネルギーを示す図である。

【0018】図1に於いて、11はP型不純物（Zn）を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の割合で添加したInPクラッド層、12は4対の井戸層と障壁層からなる多重量子井戸構造、13はN型不純物（Se）を $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の割合で添加したInPクラッド層、14はP型不純物（Zn）を $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の割合で添加した1%の圧縮歪を導入した厚さ30ÅのIn(x)Ga(1-x)As（x=0.7）結晶組成からなる井戸層、15は不純物を意図的には添加しない厚さ100ÅのInGaAsP（λg=1.28μm）障壁層、16は伝導帯エネルギー、17は価電子帯エネルギー、18はP型不純物添加によるアクセプタである。

【0019】この実施例に於いて埋め込み型の半導体レーザ装置を作製したところ電流しきい値が従来例の15mAから8mAに改善され温度特性も改善された。さらに、高周波応答特性も小信号応答による最大緩和振動周波数が従来例の10GHzから15GHzに改善された。

【0020】以上のように、圧縮歪を井戸層に導入してP型不純物を添加することにより、障壁層での不要な発光再結合電流の発生や、障壁層での価電子帯間吸収機構による光学的な損失を被ることなしに、ウェル層での光学利得の増加を図ることができる。井戸層での価電子帯間吸収は、歪の効果による小さい正孔質量のために大幅に抑制される。このため、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができ、半導体レーザ装置の特性を改善することができる。

【0021】なお、本実施例では、特定の結晶組成、厚み、不純物等の条件に於ける、井戸層、障壁層、クラッド層について述べたが、他の適当な条件に於いても同様の効果が得られることは言うまでもない。また半導体レーザ装置の発振波長として1.5μmの場合について説明したが1.0-1.6μmの波長範囲についても同様である。

【0022】また、本実施例では説明を省略した注入電流とレーザ光の閉じ込め構造については何等制限を与えるものではなく、従来用いられている埋め込み構造も利用できる。

【0023】（実施例2）以下、図面を用いて本発明の第二の実施例について説明する。図2は第二の実施例に於ける発振波長が1.5μm付近の半導体レーザ装置の伝導帯と価電子帯のエネルギーを示す図である。図2に於いて、21はP型不純物（Zn）を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の割合で添加したInPクラッド層、22は4対の井戸層と障壁層からなる多重量子井戸構造、23はN型不純物（Se）を $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の割合で添加したInPクラッド層、24は圧縮歪を導入しP型InPクラッド層からN型InPクラッド層に向けてx=0.75から0.7に徐々に減少するIn(x)Ga(1-x)As結晶組

成からなる井戸層、25は不純物を意図的には添加しないバンドギャップエネルギーがP型InPクラッド層からN型InPクラッド層に向けて1eVから0.95eVに徐々に減少するInGaAsP ( $\lambda_g = 1.2 \mu m$ ) 障壁層、26は伝導帯エネルギー、27は価電子帯エネルギーである。

【0024】この実施例に於いて埋め込み型の半導体レーザ装置を作製したところ電流しきい値が従来例の15mAから10mAに改善され温度特性も改善された。さらに、高周波応答特性も小信号応答による最大緩和振動周波数が従来例の10GHzから17GHzに改善された。

【0025】以上のように、障壁層のバンドギャップエネルギーを、P型の導電型を有するクラッド層の側からN型の導電型を有するクラッド層の側に向けて、序々に小さくなるように設定することにより、P型の導電型のクラッドから電氣的に注入される正孔の注入が各多重量子井戸層に対してより均一に起こる。このため、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができる。

【0026】(実施例3) また、実施例2で示した多重量子井戸構造を形成する各々の量子井戸構造に於いて、電子の第一量子準位と正孔の第一量子準位間のエネルギー差が等しくなるように、前記量子井戸構造を形成する井戸層の膜厚、もしくは結晶組成を設定することにより正孔の注入が均一に起こると同時に、利得波長が全ての量子井戸構造に於いて等しくなるようにする。

【0027】このようにして、本発明では単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができるために、半導体レーザ装置のしきい値電流は小さくなり、温度特性も改善される。さらに、高周波変調電流に対する応答も改善される。

【0028】以上の実施例では、本発明の請求項の構成についてそれぞれの例を示したが、同時に複数の発明を用いてもよい。

\*

# \* 【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、発振波長が1~1.6  $\mu m$ の範囲で、光ファイバを伝送路とする光通信の光源等に用いられる種類の、多重量子井戸構造を有する半導体レーザ装置に於いて、単位キャリア密度の変化に対する利得増加の割合を大きくすることができるために、しきい値電流や温度特性等の直流特性の他に、高周波変調電流に対する応答特性も改善する効果があり、光通信等の分野に於いて産業上大きな意義を有する。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】第一の実施例に於ける半導体レーザ装置の伝導帯と価電子帯のエネルギーを示す図

【図2】第二の実施例に於ける半導体レーザ装置の伝導帯と価電子帯のエネルギーを示す図

【図3】従来例に於ける半導体レーザ装置に於ける量子井戸構造部分の伝導帯と価電子帯のエネルギーを示す図

## 【符号の説明】

- 11, 21 P型InPクラッド層
- 12, 22 多重量子井戸構造
- 13, 23 N型InPクラッド層
- 14 P型不純物を添加したInGaAs井戸層
- 15 意図的には不純物を添加しないInGaAsP障壁層
- 16, 26 伝導帯エネルギー
- 17, 27 価電子帯エネルギー
- 18 アクセプタ
- 24 InGaAs井戸層
- 25 バンドギャップが徐々に変化するInGaAsP障壁層
- 38 井戸層の発光再結合
- 39 障壁層の発光再結合
- 40 井戸層での価電子帯間吸収遷移
- 41 障壁層での価電子帯間吸収遷移

【図2】

